

## Optical wavelength multiplexer or demultiplexer

Publication number: FR2779298

Publication date: 1999-12-03

Inventor: AKIBA KENJI; INABA KIMIO; MOROSAWA KENICHI

Applicant: HITACHI CABLE (JP)

Classification:

- international: G02B6/34; G02B6/34; (IPC1-7): H04J14/02

- european: G02B6/34B4B

Application number: FR19980014949 19981127

Priority number(s): JP19980150365 19980529; JP19980155003 19980603

Also published as:

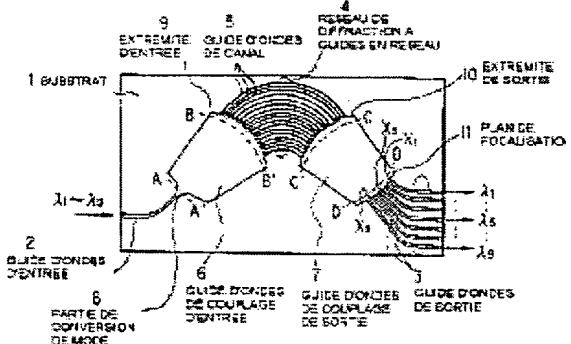
US6222956 (B)

CA2253972 (A)

[Report a data error](#)

### Abstract of FR2779298

A typical demultiplexer has a narrow inlet channel formed on a substrate, carrying a mixture of electromagnetic wave of different wavelengths ( $\lambda_1$  -  $\lambda_9$ ). The waves enter a first broad area (6) and spread out from a mode conversion point (8). The wave fronts form an arc of a circle (B-B') which enters a diffraction region (4) with a large number of narrow waveguide channels (5) of different lengths. The exit ends of the channels form a similar arc of a circle (C-C'), debouching onto a second broad area (7), and different wavelengths are diffracted in different directions and are focused onto different points on a curved focal plane (11). A number of different outlet channels may be provided, one for each wavelength. The wavelengths used lie within the visible optical spectrum.



Data supplied from the [esp@cenet](mailto:esp@cenet) database - Worldwide

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

(11) N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

2 779 298

(21) N° d'enregistrement national : 98 14949

(51) Int Cl<sup>6</sup> : H 04 J 14/02

(12)

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 27.11.98.

(30) Priorité : 29.05.98 JP 15036598; 03.06.98 JP 15500398.

(71) Demandeur(s) : HITACHI CABLE LTD — JP.

(43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 03.12.99 Bulletin 99/48.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : Ce dernier n'a pas été établi à la date de publication de la demande.

(60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

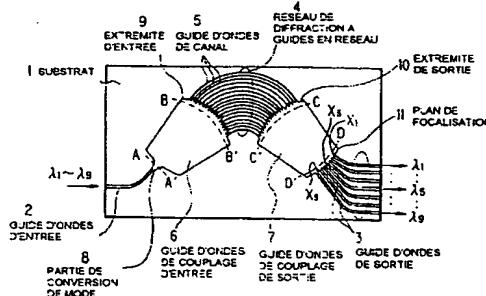
(72) Inventeur(s) : AKIBA KENJI, INABA KIMIO et MOROSAWA KENICHI.

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) : CABINET BEAU DE LOMENIE.

### (54) MULTIPLEXEUR/DEMUTIPLEXEUR DE LONGUEUR D'ONDE OPTIQUE.

(57) Les guides d'ondes de canal (5) d'un réseau de diffraction à guides d'ondes de canal agencés en réseau (4) sont agencés de telle sorte que tous leurs intervalles soient non constants entre chaque jeu de deux guides d'ondes de canal adjacents au niveau d'une première/ seconde partie de couplage pour coupler respectivement un guide d'ondes de couplage d'entrée (6) / de sortie (7) et le réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau (4). En outre, les guides d'ondes de canal (5) du réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau (4) sont agencés de telle sorte que toutes leurs différences de longueur soient non constantes entre chaque jeu de deux guides d'ondes de canal adjacents. Il est ainsi possible d'obtenir une propriété de perte d'insertion plane dans toutes les plages de longueurs d'onde et que les caractéristiques de perte d'insertion ne soient pas soumises à fluctuation du fait de la fluctuation de la longueur d'onde.



FR 2 779 298 - A1



### DOMAINE DE L'INVENTION

La présente invention concerne un multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique et plus particulièrement, un multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique dans lequel la fluctuation d'une perte d'insertion optique générée par la fluctuation de longueurs d'onde peut être diminuée.

### ARRIÈRE-PLAN DE L'INVENTION

Dans les récentes années, en tant que système de communication assurant une desserte d'information selon une vitesse élevée et une capacité importante, un système de communication optique WDM (multiplexage par division en longueur d'onde) a été développé. En particulier, un système de communication optique qui utilise un réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau en tant que multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique dans lequel plusieurs signaux optiques présentant des longueurs d'onde différentes peuvent être multiplexés ou démultiplexés est attendu avec impatience. Par exemple; ce type de systèmes de communication optique qui utilise un réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau est décrit dans les demandes de brevets du Japon publiées n°s 4-116607, 4-163406, 4-22062, 4-326308, 5-157920, etc.

Dans le multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique du type à réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau classique, lorsqu'une caractéristique de bande passante est aplanie, la fluctuation d'une perte d'insertion optique générée par la fluctuation en termes de longueur d'onde d'une source de lumière est relativement faible de telle sorte que des signaux optiques peuvent être multiplexés et/ou démultiplexés dans un état statique. Par conséquent, le multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique du type à

réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau est tout particulièrement attendu en tant que dispositif efficace pour la communication WDM optique. Cette caractéristique avantageuse du multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique est décrite par 5 exemple dans le brevet des Etats-Unis n° 5 412 744.

En tant que structure d'un multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique qui utilise un réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau, une structure comprenant un guide d'ondes d'entrée et des guides d'ondes de sortie qui sont couplés aux 10 deux extrémités d'un réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau via respectivement un guide d'ondes de couplage d'entrée et un guide d'ondes de couplage de sortie est connue.

La figure 1 représente une structure d'un multiplexeur/ 15 démultiplexeur de longueur d'onde optique classique de ce type dans lequel le multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique comprend un substrat 1, un guide d'ondes d'entrée 2 formé sur un côté du substrat 1, des guides d'ondes de sortie formés sur un autre côté du substrat 1 et un réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau 4 formé sur une partie centrale du substrat 1 où le réseau de 20 diffraction à guides d'ondes agencés en réseau 4 est constitué par une pluralité de guides d'ondes de canal 5 en parallèle présentant des longueurs de trajectoire prédéterminées.

Le multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique comprend en outre un guide d'ondes de couplage d'entrée 6 25 permettant de coupler le guide d'ondes d'entrée 2 et le réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau 4, un guide d'ondes de couplage de sortie 7 permettant de coupler les guides d'ondes de sortie 3 et le réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau 4 et une partie de conversion de mode 8 prévue entre le guide d'ondes 30 d'entrée 2 et le guide d'ondes de couplage d'entrée 6 permettant d'aplanir la caractéristique de perte optique en fonction de la longueur d'onde.

Par exemple, dans ce multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique classique, pour démultiplexer des signaux optiques

multiplexés, des signaux optiques multiplexés  $\lambda_1$  à  $\lambda_9$  dont tous présentent des longueurs d'onde différentes où  $\lambda_1$  à  $\lambda_9$  indiquent des longueurs d'onde différentes et la relation  $\lambda_1 < \lambda_2 < \dots < \lambda_8 < \lambda_9$  est établie sont entrés depuis le guide d'ondes d'entrée 2 et sont transmis

- 5 au travers de la partie de conversion de mode 8 puis sont irradiés dans le guide d'ondes de couplage d'entrée 6. Puis les signaux optiques multiplexés  $\lambda_1$  à  $\lambda_9$  sont divisés au niveau d'une extrémité d'entrée 9 du réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau 4 puis sont transmis au travers des guides d'ondes de canal 5 et d'une extrémité
- 10 de sortie 10 du réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau 4 et sont focalisés au niveau d'un plan de focalisation 11 du guide d'ondes de couplage de sortie 7. Par conséquent, les signaux optiques multiplexés  $\lambda_1$  à  $\lambda_9$  sont démultiplexés et sont respectivement émis en sortie depuis les guides d'ondes de sortie 3 comportant neuf
- 15 extrémités en tant que signaux optiques démultiplexés  $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_9$ .

Cependant, conformément au multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique classique, les caractéristiques optiques requises pour une utilisation pratique ne peuvent pas être obtenues de manière suffisante. Par exemple, lorsque les caractéristiques optiques

- 20 du dispositif sont influencées par le stigmatisme des guides d'ondes de couplage de sortie etc ..., la planéité de la perte d'insertion optique dans la bande passante devient insuffisante. Par conséquent, si la longueur d'onde présente une légère fluctuation, la caractéristique de perte d'insertion optique du guide d'ondes sera soumise à une
- 25 fluctuation importante.

Puis ce phénomène sera expliqué par report aux figures 2A, 2B et 2C à 5.

Les figures 2A à 2C représentent respectivement des distributions de champ électrique au niveau de la partie de conversion de mode 8 suivant la direction A-A', au niveau de l'extrémité d'entrée 9 du réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau 4 suivant la direction B-B', et au niveau de l'extrémité de sortie 10 suivant la direction C-C'. Au niveau de la partie de conversion de mode 8, une distribution de champ électrique 13' présente un profil en forme de

crêtes jumelles. Au niveau de l'extrémité d'entrée 9, du fait de l'effet de diffraction, une distribution de champ électrique 14' présente une crête maximum L' et des crêtes minimum m<sub>1</sub>' et m<sub>2</sub>'. Au niveau de l'extrémité de sortie 10, une distribution de champ électrique 15' est une réplique 5 d'un profil de la distribution de champ électrique 14' au niveau de l'extrémité d'entrée 9.

Les figures 3A à 3C représentent respectivement des distributions de phase des signaux optiques  $\lambda_1$ ,  $\lambda_5$  et  $\lambda_9$  au niveau de l'extrémité de sortie 10 du réseau de diffraction à guides d'ondes 10 agencés en réseau 4. Une distribution de phase 17' du signal optique  $\lambda_5$  présente un profil de phase symétrique comme représenté sur la figure 3B. Par ailleurs, une distribution de phase 16' du signal optique  $\lambda_1$  et une distribution de phase 18' du signal optique  $\lambda_9$  présentent respectivement des profils de phase asymétriques comme représenté 15 sur les figures 3A et 3C.

Ceci est dû au fait que le multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique est conçu sur la base d'une constante de propagation d'une longueur d'onde intermédiaire  $\lambda_5$ . C'est-à-dire que si l'on réalise une comparaison avec le profil de phase du signal optique 20  $\lambda_5$ , les profils de phase des signaux optiques  $\lambda_1$  et  $\lambda_9$  sont inclinés pour le réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau 4 conformément à leurs constantes de propagation respectives.

Par conséquent, un profil de phase 19' de la figure 3D qui est une différence de phase entre les distributions de phase 16' et 17' 25 représentées sur les figures 3A et 3B présente une inclinaison continue suivant l'orientation vers le haut et vers la droite. Par ailleurs, un profil de phase 21' de la figure 3E, qui est une différence de phase entre les distributions de phase 17' et 18' représentées sur les figures 3B et 3C présente une inclinaison continue suivant l'orientation vers le haut et 30 vers la gauche qui est opposée à celle de la figure 3D.

Une différence de longueur  $\Delta L$  entre deux guides d'ondes de canal adjacents 5 sur la base de la constante de propagation de la longueur d'onde intermédiaire  $\lambda_5$  est déterminée au moyen de la formule (1) qui suit :

$$\Delta L = 2 \cdot m \cdot \pi / \beta (\lambda_5) \quad (1)$$

où  $m$  est un numéro d'ordre de diffraction (un entier positif) et  $\beta (\lambda_5)$  est une constante de propagation des guides d'ondes de canal pour le signal optique  $\lambda_5$ .

5 La figure 4 représente une distribution de champ électrique au niveau du plan de focalisation 11 suivant la direction D-D'.

Comme représenté sur la figure 4, une distribution de champ électrique 24' en une position  $x_5$  correspondant au signal optique  $\lambda_5$  présente un profil en forme de crêtes jumelles symétriques de façon 10 similaire à la distribution de champ électrique au niveau de la partie de conversion de mode 8. Par ailleurs, une distribution de champ électrique 23' du signal optique  $\lambda_1$  au niveau d'une position terminale  $x_1$  et une distribution de champ électrique du signal optique  $\lambda_9$  au niveau d'une position terminale  $x_9$  présentent respectivement des profils 15 asymétriques du fait du stigmatisme du guide d'ondes de couplage de sortie 7.

Les pertes d'insertion optiques des guides d'ondes de sortie sont déterminées au moyen d'une intégrale multiplexée d'une distribution de champ électrique de signaux optiques au niveau du plan 20 de focalisation 11 et d'un mode inhérent des guides d'ondes de sortie 3. Cependant, il est évidemment non souhaitable que la distribution de champ électrique devienne davantage asymétrique en fonction de l'augmentation de la distance depuis la position centrale  $x_5$  comme décrit ci-avant.

25 La figure 5 représente une caractéristique de perte optique en fonction de la longueur d'onde, c'est-à-dire une relation entre une perte optique et des longueurs d'onde respectives de signaux optiques démultiplexés  $\lambda_1$  à  $\lambda_9$ . Comme représenté sur la figure 5, puisqu'une bande passante correspondant à la position centrale  $x_5$  présente une 30 caractéristique plane représentée en tant que profil 27', même si la longueur d'onde  $\lambda_5$  est soumise à une légère fluctuation, la fluctuation de la perte d'insertion optique n'est pas générée. Par ailleurs, les bandes passantes correspondant aux positions  $x_1$  et  $x_9$  où les distributions de champ électrique afférentes sont asymétriques

présentent respectivement des caractéristiques inclinées représentées en tant que profils 26' et 28'. En tant que résultat, la perte d'insertion optique à ce niveau est soumise à fluctuation lorsque la longueur d'onde des signaux optiques est soumise à une fluctuation légère au 5 niveau de la source de lumière.

#### RÉSUMÉ DE L'INVENTION

Par conséquent, un objet de l'invention consiste à proposer un multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique dans lequel une caractéristique de perte d'insertion devient plane dans toutes les 10 plages de longueurs d'onde et la perte d'insertion optique n'est pas soumise à fluctuation même si la longueur d'onde est soumise à fluctuation.

Selon la première caractéristique de l'invention, un multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique comprend :

- 15        un guide d'ondes d'entrée formé sur un substrat ;  
              des guides d'ondes de sortie formés sur le substrat ;  
              un réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau comprenant une pluralité de guides d'ondes de canal en parallèle formé de manière à présenter des différences de longueurs
- 20        prédéterminées entre deux guides d'ondes de canal adjacents sur le substrat ;  
              un guide d'ondes de couplage d'entrée pour coupler le guide d'ondes d'entrée au réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau afin de constituer une première partie de couplage ; et
- 25        un guide d'ondes de couplage de sortie pour coupler le réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau au guide d'ondes de sortie afin de constituer une seconde partie de couplage,  
              dans lequel les guides d'ondes de la pluralité de guides d'ondes de canal du réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau 30 sont agencés de telle sorte que tous leurs intervalles soient non constants entre chaque jeu de deux guides d'ondes de canal adjacents au niveau de la seconde partie de couplage.

Selon la seconde caractéristique de l'invention, un multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique comprend :

un guide d'ondes d'entrée formé sur un substrat ;  
des guides d'ondes de sortie formés sur le substrat ;  
un réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau  
comprenant une pluralité de guides d'ondes de canal en parallèle  
5 formé de manière à présenter des différences de longueurs  
prédéterminées entre deux guides d'ondes de canal adjacents sur le  
substrat ;  
un guide d'ondes de couplage d'entrée pour coupler le guide  
d'ondes d'entrée au réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en  
10 réseau afin de constituer une première partie de couplage ; et  
un guide d'ondes de couplage de sortie pour coupler le réseau  
de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau au guide d'ondes de  
sortie afin de constituer une seconde partie de couplage,  
dans lequel les guides d'ondes de la pluralité de guides d'ondes  
15 de canal du réseau de diffraction à guide d'ondes agencés en réseau  
sont agencés de telle sorte que tous leurs intervalles soient non  
constants entre chaque jeu de deux guides d'ondes de canal adjacents  
au niveau des première et seconde parties de couplage.

En tant que moyens permettant de déterminer tous les  
20 intervalles de la pluralité de guides d'ondes de canal de telle sorte  
qu'ils ne soient pas constants entre chaque jeu de deux guides d'ondes  
de canal adjacents au niveau des première et seconde parties de  
couplage, il convient de faire appel à un réglage angulaire des  
intervalles.

25 Conformément à la troisième caractéristique de l'invention, un  
multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique comprend :  
un guide d'ondes d'entrée formé sur un substrat ;  
des guides d'ondes de sortie formés sur le substrat ;  
un réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau  
30 comprenant une pluralité de guides d'ondes de canal en parallèle  
formé de manière à présenter des différences de longueurs  
prédéterminées entre deux guides d'ondes de canal adjacents sur le  
substrat ;

un guide d'ondes de couplage d'entrée pour coupler le guide d'ondes d'entrée au réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau afin de constituer une première partie de couplage ; et

5 un guide d'ondes de couplage de sortie pour coupler le réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau au guide d'ondes de sortie afin de constituer une seconde partie de couplage,

10 dans lequel les guides d'ondes de la pluralité de guides d'ondes de canal du réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau sont agencés de telle sorte que toutes leurs différences de longueurs soient non constantes entre chaque jeu de deux guides d'ondes de canal adjacents.

#### BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

L'invention sera maintenant expliquée de manière davantage détaillée en conjonction avec les dessins annexés parmi lesquels :

15 la figure 1 est un schéma explicatif qui représente un multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique classique ;

les figures 2A à 2C sont des graphiques qui représentent des distributions de champ électrique de signaux optiques au niveau d'une partie de conversion de mode du multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique représenté sur la figure 1 ;

20 les figures 3A à 3E sont des graphiques qui représentent des distributions de phase et des différences de phase de signaux optiques au niveau d'une extrémité de sortie du multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique représenté sur la figure 1 ;

25 la figure 4 est un graphique qui représente une distribution de champ électrique de signaux optiques au niveau d'un plan de focalisation du multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique classique représenté sur la figure 1 ;

30 la figure 5 est un graphique qui représente une caractéristique de perte d'insertion optique du multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique classique représenté sur la figure 1 ;

les figures 6A et 6B sont des schémas explicatifs qui représentent un multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique selon un premier mode de réalisation préféré selon l'invention,

où la figure 6A est une vue en plan afférente et la figure 6B est une vue agrandie partielle afférente ;

les figures 7A à 7C sont des graphiques qui représentent des distributions de champ électrique de signaux optiques au niveau de 5 positions respectives d'un multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique selon le premier mode de réalisation préféré représenté sur les figures 6A et 6B ;

les figures 8A à 8E sont des graphiques qui représentent des distributions de phase et des différences de phase de signaux optiques 10 au niveau d'une extrémité de sortie d'un multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique selon le premier mode de réalisation préféré représenté sur les figures 6A et 6B ;

la figure 9 est un graphique qui représente une distribution de champ électrique de signaux optiques au niveau d'un plan de 15 focalisation d'un multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique selon le premier mode de réalisation préféré représenté sur les figures 6A et 6B ;

la figure 10 est un graphique qui représente une caractéristique de perte d'insertion optique d'un multiplexeur/démultiplexeur de 20 longueur optique selon le premier mode de réalisation préféré représenté sur les figures 6A et 6B ; et

les figures 11A et 11B sont des schémas explicatifs qui représentent un multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique selon un second mode de réalisation préféré selon l'invention 25 où la figure 11A est une vue en plan afférente et la figure 11B est une vue agrandie partielle afférente.

#### DESCRIPTION DES MODES DE RÉALISATION PRÉFÉRÉS

Un multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique selon les modes de réalisation préférés selon l'invention sera ensuite 30 expliqué de manière davantage détaillée en conjonction avec les dessins annexés.

Les figures 6A et 6B représentent un multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique selon un premier mode de réalisation préféré selon l'invention où le

multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique comprend un substrat 1, un guide d'ondes d'entrée 2 formé sur un côté du substrat 1, des guides d'ondes de sortie 3 formés sur un autre côté du substrat 1 et un réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau 4

5      comprenant une pluralité de guides d'ondes de canal 5 formé sur une partie centrale du substrat 1 où le réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau 4 est constitué par une pluralité de guides d'ondes de canal 5 en parallèle dont chacun présente une différence de longueur de trajectoire prédéterminée.

10     Le multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique comprend en outre un guide d'ondes de couplage d'entrée 6 inséré entre le guide d'ondes d'entrée 2 et le réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau 4, un guide d'ondes de couplage de sortie 7 inséré entre le guide d'ondes de sortie 3 et le réseau de diffraction à 15    guides d'ondes agencés en réseau 4 et une partie de conversion de mode 8 prévue entre le guide d'ondes d'entrée 2 et le guide d'ondes de couplage d'entrée 6 où une extrémité d'entrée 9 du réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau 4 transmet des signaux optiques au réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau 4, et une extrémité de sortie 10 du réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau 4 focalise les signaux optiques sur un plan de focalisation 11 formé au niveau d'une partie d'extrémité du guide 20    d'ondes de couplage de sortie 7.

25     Dans le multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique, neuf signaux optiques multiplexés en longueur d'onde dont chacun présente une longueur d'onde définie en tant que  $\lambda_1$  à  $\lambda_9$  sont entrés depuis le guide d'ondes d'entrée 2 et sont transmis au travers du guide d'ondes de couplage d'entrée 6, du réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau 4 et du guide d'ondes de couplage 30    de sortie 7. Les signaux optiques multiplexés  $\lambda_1$  à  $\lambda_9$  sont démultiplexés au travers de ces guides d'ondes et sont finalement émis en sortie depuis les guides d'ondes de sortie 3 en tant respectivement que signaux optiques démultiplexés  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  ...  $\lambda_9$ . Conformément au multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde

optique selon le premier mode de réalisation préféré, les guides d'ondes de la pluralité de guides d'ondes de canal 5 en parallèle sont constitués selon des intervalles prédéterminés comme décrit ci-avant de telle sorte que tous leurs intervalles ne soient pas constants entre

5 chaque jeu de deux guides d'ondes de canal adjacents, au niveau à la fois d'une première partie de couplage (c'est-à-dire au niveau de l'extrémité d'entrée 9) permettant de coupler le guide d'ondes de couplage d'entrée 6 et le réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau 4 et d'une seconde partie de couplage (c'est-à-dire

10 au niveau de l'extrémité de sortie 10) permettant de coupler le guide d'ondes de couplage de sortie 7 et le réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau 4.

Les intervalles des guides d'ondes de canal 5 sont déterminés comme expliqué ci-après.

15 Tout d'abord, un procédé permettant de déterminer un intervalle des guides d'ondes de canal 5 au niveau de la seconde partie de couplage permettant de coupler le guide d'ondes de couplage de sortie 7 et le réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau 4 est expliqué à titre d'exemple. Ici, il est supposé que le nombre total de

20 guides d'ondes de canal 5 est de  $N$  et qu'un numéro selon l'ordre numérique de l'un des guides d'ondes de canal est  $i$ . Lorsque les guides d'ondes de la pluralité des guides d'ondes de canal 5 sont divisés selon des premier à troisième groupes conformément à l'ordre de positionnement, le numéro le plus petit selon l'ordre numérique des

25 guides d'ondes de canal 5 classifiés dans le second groupe est  $i_1$ , le numéro le plus petit selon l'ordre numérique des guides d'ondes de canal 5 classifiés dans le troisième groupe est  $i_2$ , un angle formé par l'un des guides d'ondes de canal 5 présentant le numéro  $i = 1$  par rapport à une ligne de référence 12 en un point de référence 0 du

30 guide d'ondes de couplage de sortie 7 est  $\theta_0$ , un angle commun pour déterminer des intervalles des guides d'ondes de canal 5 est  $\Delta\theta$  et des premier et second angles de correction déterminés conformément aux premier et second groupes des guides d'ondes de canal 5 sont respectivement  $\Delta\theta_1$  et  $\Delta\theta_2$ . L'angle  $\theta_i$  permettant de déterminer un

intervalle du  $i$ -ième guide d'ondes de canal est déterminé conformément à la formule (2) qui suit :

$$\begin{aligned} \theta_i &= \theta_0 + \Delta\theta \times (i - 1) & (1 \leq i < i_1) \\ &= \theta_0 + \Delta\theta \times (i - 1) + \Delta\theta_1 & (i_1 \leq i < i_2) \\ 5 &= \theta_0 + \Delta\theta \times (i - 1) + \Delta\theta_1 + \Delta\theta_2 & (i_2 \leq i \leq N) \end{aligned} \quad (2)$$

Dans ce cas, il est préférable que le premier angle de correction  $\Delta\theta_1$  soit constitué dans une plage déterminée par la formule (3) :

$$\begin{aligned} 10 &-0,5 \times \Delta\theta \leq \Delta\theta_1 \leq 0,5 \times \Delta\theta & (3) \\ &\text{En outre, il est également préférable que le second angle de} \\ &\text{correction } \Delta\theta_2 \text{ soit constitué dans une plage déterminée par la formule} \\ &\text{(4) :} \end{aligned}$$

$$-0,5 \times \Delta\theta \leq \Delta\theta_2 \leq 0,5 \times \Delta\theta \quad (4)$$

15 Lorsque le nombre total de guides d'ondes de canal 5 est  $N$  et que les numéros  $i_1, i_2$  selon l'ordre numérique des guides d'ondes de canal 5 sont définis comme suit :

$$\begin{aligned} i_1 &= dN_1 \\ i_2 &= N - dN_2 \end{aligned} \quad (5)$$

où  $N > dN_1, dN_2$ , il est préférable que  $dN_1$  et  $dN_2$  soient constitués dans 20 une plage de  $1/6$  à  $1/3$  du nombre total  $N$  des guides d'ondes de canal 5.

Il n'est pas préférable que les  $dN_1$  et  $dN_2$  soient constitués au-delà de cette plage puisque l'effet d'annulation de stigmatisme n'est pas obtenu de manière suffisante au niveau de sa limite inférieure et 25 que cet effet devient excessif au niveau de sa limite supérieure.

La figure 6B représente des intervalles  $\theta_{71}$  à  $\theta_{73}$  des guides d'ondes de canal 5 au niveau de l'extrémité de sortie 10, les quatre intervalles étant constitués respectivement conformément aux formules (2) :

$$\begin{aligned} 30 \quad \theta_{71} &= \Delta\theta + \Delta\theta_1 \\ \theta_{72} &= \Delta\theta \\ \theta_{73} &= \Delta\theta + \Delta\theta_2 \end{aligned}$$

Des intervalles  $\phi_{61}, \phi_{62}$  et  $\phi_{63}$  des guides d'ondes de canal 5 au niveau de la première partie de couplage permettant de coupler le

guide d'ondes de couplage d'entrée 6 et le réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau 4 représentés sur les figures 6A et 6B sont déterminés de façon similaire au processus mentionné ci-avant.

5 Dans ce cas; les formules (2) à (5) et les descriptions se rapportant à celles-ci sont appliquées aux intervalles  $\phi_{61}$  à  $\phi_{63}$  en remplaçant  $\theta$  par  $\phi$ .

Les intervalles  $\phi_{61}$ ,  $\phi_{62}$  et  $\phi_{63}$  des guides d'ondes de canal 5 au niveau de l'extrémité d'entrée 9 sont constitués respectivement 10 conformément aux formules (2) :

$$\phi_{61} = \Delta\phi + \Delta\phi_1$$

$$\phi_{62} = \Delta\phi$$

$$\phi_{63} = \Delta\phi + \Delta\phi_2$$

Ici, la valeur de  $\phi_{61}$  au niveau de l'extrémité d'entrée 9 peut être 15 différente de la valeur de  $\theta_{71}$  au niveau de l'extrémité de sortie 10 et ceci est similaire pour les autres intervalles  $\phi_{63}$  et  $\theta_{73}$ .

Selon le premier mode de réalisation préféré, les guides d'ondes de la pluralité de guides d'ondes de canal 5 sont classifiés selon plusieurs groupes sur le côté du guide d'ondes de couplage de 20 sortie 7 de la même manière que sur le côté du guide d'ondes de couplage d'entrée 6. Cependant, les façons de réaliser la classification des guides d'ondes de canal 5 sur les côtés respectifs peuvent être différentes l'une de l'autre. C'est-à-dire qu'il n'est pas nécessaire de faire coïncider une position pour insérer l'angle de correction du côté 25 de guide d'ondes de couplage de sortie avec celle du côté de guide d'ondes de couplage d'entrée.

Puis des fonctions d'un multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique selon le premier mode de réalisation préféré selon l'invention seront expliquées.

30 Selon le premier mode de réalisation préféré, une différence de longueur de guide d'ondes  $\Delta L$  de chaque jeu de deux guides d'ondes de canal adjacents des guides d'ondes de canal 5, qui composent le réseau de diffraction de guides d'ondes agencés en réseau 4, est agencée en étant basée sur la formule (1).

Le nombre total  $N$  des guides d'ondes de canal 5 dans la formule (1) est de 60, les premier et second numéros prédéterminés  $i_1$  et  $i_2$  selon l'ordre numérique des guides d'ondes de canal 5 sont respectivement le 15-ième et le 46-ième, les angles communs sont 5 déterminés comme valant 0,2 degré et les angles de correction  $\Delta\theta_1$  et  $\Delta\theta_2$  ainsi que  $\Delta\phi_1$  et  $\Delta\phi_2$  sont déterminés comme valant 0,02 degré, c'est-à-dire un dixième des angles communs  $\Delta\theta$  et  $\Delta\phi$ .

Les figures 7A à 7C représentent des distributions de champ électrique de l'un des signaux optiques  $\lambda_1$  à  $\lambda_9$  au niveau de positions 10 qui suivent. Les distributions de champ électrique des signaux optiques  $\lambda_1$  à  $\lambda_9$  présentent des profils pratiquement similaires.

Ici, la figure 7A représente une distribution de champ électrique au niveau de la partie de conversion de mode 8 suivant la direction A-A', la figure 7B représente une distribution de champ électrique au 15 niveau de l'extrémité d'entrée 9 du réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau 4 suivant la direction B-B' et la figure 7C représente une distribution de champ électrique au niveau de l'extrémité de sortie 10 suivant la direction C-C'.

Une distribution de champ électrique 13 représentée sur la 20 figure 7A présente un profil en forme de crêtes jumelles, une distribution de champ électrique 14 représentée sur la figure 7B présente une crête maximum  $L$  et des crêtes minimum  $m_1$  et  $m_2$  du fait de l'effet de diffraction généré par le réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau 4, une distribution de champ électrique 15 25 représentée sur la figure 7C est une réplique d'un profil de la distribution de champ électrique 14.

Les 15-ième et 46-ième guides d'ondes de canal sont respectivement positionnés de manière à correspondre aux valeurs minimum  $m_1$  et  $m_2$ . C'est-à-dire que les angles de correction sont 30 insérés aux positions correspondant aux valeurs minimum de la distribution de champ électrique.

Les figures 8A à 8E représentent des distributions de phase de signaux optiques au niveau de l'extrémité de sortie 10 du réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau 4 suivant la direction

C-C' où la figure 8A représente une distribution de phase d'un signal optique  $\lambda_1$ , la figure 8B représente une distribution de phase d'un signal optique  $\lambda_5$  et la figure 8C représente une distribution de phase d'un signal optique  $\lambda_9$ . Sur la figure 8B qui représente la distribution de

5 phase du signal optique  $\lambda_5$  en une position centrale, un profil de phase 17 est symétrique. Par ailleurs, sur les figures 8A et 8C qui représentent les distributions de phase des signaux optiques  $\lambda_1$  et  $\lambda_9$ , puisque la constante de propagation présente une dépendance vis-à-vis de la longueur d'onde, des profils de phase 16 et 18 sont inclinés

10 en ce qui concerne l'extrémité de sortie 10 du réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau 4 conformément aux longueurs d'onde respectives.

En outre, les figures 8D et 8E représentent respectivement une différence de phase 19 entre le signal optique  $\lambda_1$  représenté sur la

15 figure 8A et le signal optique  $\lambda_5$  représenté sur la figure 8B ainsi qu'une différence de phase 21 entre le signal optique  $\lambda_5$  représenté sur la figure 8B et le signal optique  $\lambda_9$  représenté sur la figure 8C. L'inclinaison des profils n'est pas continue sur la totalité des guides d'ondes de canal 5 suivant la direction C-C', et il y a deux parties

20 discontinues 20 et 22 en des positions intermédiaires (correspondant aux 15-ième et 46-ième guides d'ondes de canal).

Ces parties discontinues 20 et 22 sont formées par les angles de correction  $\Delta\theta_1$  et  $\Delta\theta_2$  de la formule (2) permettant de déterminer des angles mutuels respectifs des guides d'ondes de canal 5 du réseau de

25 diffraction à guides d'ondes agencés en réseau 4, ce qui a pour effet d'annuler le stigmatisme du guide d'ondes de couplage de sortie 7 etc.

Une valeur discontinue  $\delta\psi(\lambda_j)$  des parties discontinues peut être obtenue comme suit :

$$\delta\psi(\lambda_j) = [\beta(\lambda_j) - \beta(\lambda_5)] \cdot \Delta L \cdot \Delta\theta_1/\Delta\theta \quad \text{ou}$$

30  $= [\beta(\lambda_j) - \beta(\lambda_5)] \cdot \Delta L \cdot \Delta\phi_1/\Delta\phi$

où une constante de propagation de signaux optiques respectifs vaut  $\beta(\lambda_j)$ . Il est confirmé que la valeur discontinue  $\delta\psi(\lambda_j)$  devient plus importante lorsqu'une différence entre la longueur d'onde  $\lambda_5$  et la longueur d'onde des signaux optiques respectifs devient plus

importante et que l'effet de correction du stigmatisme est augmenté de façon relative par rapport à l'augmentation de la valeur discontinue. En outre, cette valeur discontinue devient plus importante lorsque le pourcentage des angles de correction  $\Delta\theta_1$  et  $\Delta\phi_1$  par rapport aux angles

5 communs  $\Delta\theta$  et  $\Delta\phi$  devient plus important.

La figure 9 représente des distributions de champ électrique en des positions  $x_1$ ,  $x_5$  et  $x_9$  (correspondant aux signaux optiques  $\lambda_1$ ,  $\lambda_5$  et  $\lambda_9$ ) du plan de focalisation 11 suivant la direction D - D'.

10 Comme représenté sur la figure 9, des distributions de champ électrique respectives 23, 24 et 25 sont les répliques des distributions de champ électrique au niveau de la partie de conversion de mode 8 et présentent des profils symétriques. Ceci résulte de l'effet d'annulation de stigmatisme des parties discontinues 20 et 22.

15 Bien que les distributions de champ électrique 23, 24 et 25 soient déplacées sur le plan de focalisation 11 conformément aux longueurs d'onde respectives, les distributions de champ électrique continuent à présenter des profils en forme de crêtes jumelles symétriques. Par conséquent, même si la longueur d'onde du signal optique est soumise à fluctuation, la perte d'insertion optique n'est pas 20 soumise à une fluctuation importante.

25 La figure 10 représente la caractéristique de perte optique en fonction de la longueur d'onde, c'est-à-dire la relation qui lie la perte optique et la longueur d'onde. La caractéristique de perte optique en fonction de la longueur d'onde est aplanie non seulement au niveau d'une bande passante 27 du signal optique  $\lambda_5$  au niveau de la position centrale mais également dans toutes les plages de longueurs d'onde incluant des bandes passantes 26 et 28 des signaux optiques  $\lambda_1$  et  $\lambda_9$ .

30 En tant que résultat, la caractéristique de perte d'insertion optique peut être stabilisée et par conséquent, il est possible d'éliminer l'inconvénient du multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique classique consistant en ce que la caractéristique de perte optique est soumise à une fluctuation significative du fait de la fluctuation légère de la longueur d'onde.

Selon le premier mode de réalisation préféré, les angles de correction  $\Delta\theta_1$  et  $\Delta\theta_2$  ainsi que  $\Delta\phi_1$  et  $\Delta\phi_2$  des guides d'ondes de canal 5 au niveau des deux côtés d'entrée et de sortie sont déterminés comme valant 0,02 degré. Cependant, les mesures en degrés des 5 angles de correction respectifs peuvent être différentes l'une de l'autre.

Par exemple, le même effet peut être obtenu en faisant en sorte que les angles de correction soient tels que  $\Delta\theta_1 = 0,020$  (degré),  $\Delta\theta_2 = 0,015$  (degré),  $\Delta\phi_1 = 0,010$  (degré), et  $\Delta\phi_2 = 0,005$  (degré). Selon le premier mode de réalisation préféré, le nombre de positions où les 10 angles de correction sont prévus est expliqué comme valant 2 mais cependant, les positions pour les angles de correction peuvent être en un nombre supérieur à deux.

Un élément pris parmi un substrat en verre, un substrat semiconducteur etc ... est utilisé en tant que substrat 1 conformément 15 à la présente invention. Un matériau transparent optiquement tel qu'un matériau de verre ou un matériau semiconducteur peut être utilisé en tant que matériau de base, couche de gainage et couche tampon.

Comme décrit ci-avant, selon l'invention, il est possible de constituer un multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique 20 dans lequel une pluralité de guides d'ondes de canal sont agencés de telle sorte que tous leurs intervalles ne soient pas constants entre chaque jeu de deux guides d'ondes de canal adjacents au niveau de parties de couplage pour des guides d'ondes de couplage d'entrée et de sortie et pour un réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en 25 réseau. Au moyen de cette structure, puisque le stigmatisme des guides d'ondes peut être annulé, les bandes passantes pour toutes les plages de longueurs d'onde sont aplanies et les caractéristiques de perte d'insertion optique ne sont pas soumises à fluctuation. L'effet afférent est très élevé, ce qui augmente l'utilité pratique d'un 30 multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique du type à réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau.

Puis un multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique selon un autre mode de réalisation préféré selon l'invention sera expliqué.

Les figures 11A et 11B représentent un multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde selon le second mode de réalisation préféré selon l'invention où le multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique comprend un substrat 1, un guide d'ondes d'entrée 2 formé sur un côté du substrat 1, des guides d'ondes de sortie 3 formés sur un autre côté du substrat 1 et un réseau de diffraction à guides d'ondes optiques agencés en réseau 4 formé sur une partie centrale du substrat 1 où le réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau 4 est constitué par une pluralité de guides d'ondes de canal 5 en parallèle dont chacun présente une différence de longueurs de trajectoire pré-déterminée.

Le multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique comprend en outre un guide d'ondes de couplage d'entrée 6 permettant de coupler le guide d'ondes d'entrée 2 et le réseau de diffraction à guides d'ondes optiques agencés en réseau 4, un guide d'ondes de couplage de sortie 7 permettant de coupler le guide d'ondes de sortie 3 et le réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau 4 et une partie de conversion de mode 8 prévue entre le guide d'ondes d'entrée 2 et le guide d'ondes de couplage d'entrée 6 où une extrémité d'entrée 9 du réseau de diffraction à guides d'ondes arrangeés en réseau 4 transmet des signaux optiques au réseau de diffraction à guides d'ondes optique agencés en réseau 4 et une extrémité de sortie 10 du réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau 4 focalise les signaux optiques sur un plan de focalisation 11 formé au niveau d'une partie d'extrémité du guide d'ondes de couplage de sortie 7.

Dans le multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique, des signaux optiques multiplexés dont chacun présente une longueur d'onde comprise entre  $\lambda_1$  et  $\lambda_9$  sont entrés depuis le guide d'ondes d'entrée 2 et sont transmis au travers du guide d'ondes de couplage d'entrée 6, du réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau 4 et du guide d'ondes de couplage de sortie 7. Les signaux optiques multiplexés  $\lambda_1$  à  $\lambda_9$  sont démultiplexés au travers de ces guides d'ondes et pour finir, ils sont respectivement émis en sortie

depuis les guides d'ondes de sortie 3 en tant que signaux optiques démultiplexés  $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_9$ .

Comme représenté sur la figure 11B, selon le second mode de réalisation préféré, des différences de longueur entre deux guides d'ondes de canal adjacents 514 - 515, 515 - 516, 545 - 546 et 546 - 547 sont déterminées comme étant inférieures à celles d'autres deux guides d'ondes de canal adjacents 513 - 514, 547 - 548, etc.

C'est-à-dire que des pas de disposition des guides d'ondes de canal 5 et des différences de longueur entre chaque jeu de deux guides d'ondes de canal adjacents sont déterminés comme étant constants pour l'ensemble des jeux de deux guides d'ondes de canal adjacents à l'exception de entre les deux guides d'ondes de canal adjacents 514 - 515, 515 - 516, 545 - 546 et 546 - 547. Par conséquent, les différences de longueur entre les deux guides d'ondes de canal adjacents 514 - 515, 515 - 516, 545 - 546 et 546 - 547 sont déterminées comme valant la moitié (0,5) de celles d'autres deux guides d'ondes de canal adjacents 513 - 514, 547 - 548, etc ... où les différences de longueur sont constantes.

Les différences de longueur expliquées ci-avant entre les deux guides d'ondes de canal adjacents sont déterminées conformément au standard II pris parmi les standards I à IV qui suivent mais cependant, les longueurs peuvent être corrigées en fonction des autres standards.

#### [Standard I]

Lorsque le nombre total des guides d'ondes de canal est N, le numéro selon l'ordre numérique de l'un des guides d'ondes de canal est i, des numéros prédéterminés des guides d'ondes de canal sont  $i_1$  et  $i_2$ , une longueur de référence des guides d'ondes de canal est  $L_0$ , une différence de longueur commune entre chaque jeu de deux guides d'ondes de canal adjacents est  $\Delta L$  et des première et seconde valeurs de correction de longueurs des guides d'ondes de canal sont  $dL_1, dL_2$ , une longueur  $L_i$  du i-ième guide d'ondes de canal est déterminée conformément à la formule qui suit :

$$L_i = L_0 + \Delta L \times (i - 1) \quad (1 \leq i < i_1)$$

$$= L_0 + \Delta L \times (i - 1) + dL_1 \quad (i_1 \leq i < i_2)$$

$$= L_0 + \Delta L \times (i - 1) + dL_2 \quad (i_2 \leq i \leq N)$$

[Standard II]

Lorsque le nombre total des guides d'ondes de canal est N, le numéro selon l'ordre numérique de l'un des guides d'ondes de canal 5 est i, des numéros prédéterminés des guides d'ondes de canal sont  $i_1$  et  $i_2$ , une longueur de référence des guides d'ondes de canal est  $L_0$ , une différence de longueur commune entre chaque jeu de deux guides d'ondes de canal adjacents est  $\Delta L$  et des première et seconde valeurs de correction de longueurs des guides d'ondes de canal sont  $dL_1$ ,  $dL_2$ , 10 une longueur  $L_i$  du i-ième guide d'ondes de canal est déterminée 15 conformément à la formule qui suit :

$$\begin{aligned} L_i &= L_0 + \Delta L \times (i - 1) & (1 \leq i < i_1) \\ &= L_0 + \Delta L \times (i - 1) - \Delta L/2 & (i = i_1) \\ &= L_0 + \Delta L \times (i - 1) - \Delta L & (i_1 + 1 \leq i < i_2) \\ 15 &= L_0 + \Delta L \times (i - 1) - 1,5 \cdot \Delta L & (i = i_2) \\ &= L_0 + \Delta L \times (i - 1) - 2 \cdot \Delta L & (i_2 + 1 \leq i < N) \end{aligned}$$

[Standard III]

Lorsque le nombre total des guides d'ondes de canal est N, le numéro selon l'ordre numérique de l'un des guides d'ondes de canal 20 est i, des numéros prédéterminés des guides d'ondes de canal sont  $i_1$  et  $i_2$ , une longueur de référence des guides d'ondes de canal est  $L_0$ , une différence de longueur commune entre chaque jeu de deux guides d'ondes de canal adjacents est  $\Delta L$  et des première et seconde valeurs de correction de longueurs des guides d'ondes de canal sont  $dL_1$ ,  $dL_2$ , 25 une longueur  $L_i$  du i-ième guide d'ondes de canal est déterminée 30 conformément à la formule qui suit :

$$\begin{aligned} L_i &= L_0 + \Delta L \times (i - 1) & (1 \leq i < i_1) \\ &= L_0 + \Delta L \times (i - 1) + \Delta L/2 & (i = i_1) \\ &= L_0 + \Delta L \times (i - 1) + \Delta L & (i_1 + 1 \leq i < i_2) \\ 30 &= L_0 + \Delta L \times (i - 1) + 1,5 \cdot \Delta L & (i = i_2) \\ &= L_0 + \Delta L \times (i - 1) + 2 \cdot \Delta L & (i_2 + 1 \leq i < N) \end{aligned}$$

[Standard IV]

Lorsque le nombre total des guides d'ondes de canal est N, le numéro selon l'ordre numérique de l'un des guides d'ondes de canal

est  $i$ , des numéros prédéterminés des guides d'ondes de canal sont  $i_1$  et  $i_2$ , une longueur de référence de ladite pluralité de guides d'ondes de canal est  $L_0$ , des première, seconde et troisième valeurs de correction de longueurs desdits guides d'ondes de canal sont

5 respectivement  $\Delta L_1$ ,  $\Delta L_2$  et  $\Delta L_3$ , une constante de propagation d'une longueur d'onde prédéterminée  $\lambda_j$  est  $\beta$  ( $\lambda_j$ ), les première, seconde et troisième valeurs de correction  $\Delta L_1$ ,  $\Delta L_2$  et  $\Delta L_3$  sont respectivement :

$$\Delta L_1 = 2.m_1.\pi/\beta (\lambda_j) \quad (m_1 \text{ est un entier positif})$$

$$\Delta L_2 = 2.m_2.\pi/\beta (\lambda_j) \quad (m_2 \text{ est un entier positif}), \text{ et}$$

10  $\Delta L_3 = 2.m_3.\pi/\beta (\lambda_j) \quad (m_3 \text{ est un entier positif}),$

la longueur  $L_i$  du  $i$ -ième guide d'ondes de canal est déterminée conformément à la formule qui suit :

$$L_i = L_0 + \Delta L_1 \times (i - 1) \quad (1 \leq i < i_1)$$

$$= L_0 + \Delta L_2 \times (i - 1) \quad (i_1 \leq i < i_2)$$

15  $= L_0 + \Delta L_3 \times (i - 1) \quad (i_2 \leq i \leq N)$

Lorsque le nombre total des guides d'ondes de canal 5 est  $N$  et que les numéros prédéterminés  $i_1$  et  $i_2$  selon l'ordre numérique des guides d'ondes de canal 5 sont définis comme suit :

$$i_1 = dN_1$$

20  $i_2 = N - dN_2 \quad (6)$

il est préférable que  $dN_1$  et  $dN_2$  soient constitués dans une plage de 1/6 à 1/3 du nombre total  $N$  des guides d'ondes de canal.

Il n'est pas préférable que les  $dN_1$  et  $dN_2$  soient constitués au-delà de cette plage puisque l'effet d'annulation de stigmatisme ne peut 25 pas être obtenu de manière suffisante au niveau de sa limite inférieure et que cet effet devient excessif au niveau de sa limite supérieure.

Selon le second mode de réalisation préféré, la différence de longueur commune  $\Delta L$  entre chaque jeu de deux guides d'ondes de canal adjacents 513 - 514, 547 - 548, etc ..., lesquels sont agencés 30 selon une disposition incurvée, est obtenue conformément à la formule (1).

Dans la structure représentée sur les figures 11A et 11B, le nombre total des guides d'ondes de canal 5 est de 60.

Dans la structure mentionnée ci-avant du second mode de réalisation préféré, des distributions de champ électrique (des intensités) représentées sur les figures 7A à 7C, des distributions de phase et des différences de phase représentées sur les figures 8A à 5 8E, des distributions de champ électrique (des intensités optiques) représentées sur la figure 9 et des caractéristiques de perte d'insertion représentées sur la figure 10 sont obtenues de la même manière. En tant que résultat, il est confirmé que leurs valeurs mesurées sont pratiquement égales à celles selon le premier mode de réalisation 10 préféré.

Comme décrit ci-avant, selon l'invention, il est possible de constituer un multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique dans lequel une pluralité de guides d'ondes de canal sont agencés de telle sorte que toutes leurs différences de longueurs ne soient pas 15 constantes entre chaque jeu de deux guides d'ondes de canal adjacents dans un réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau. Au moyen de cette structure, puisque le stigmatisme des guides d'ondes peut être annulé, les bandes passantes pour toutes les plages de longueurs d'onde sont aplanies et les caractéristiques de 20 perte d'insertion optique ne sont pas soumises à fluctuation. L'effet afférent est très élevé, ce qui augmente l'utilité pratique d'un multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique du type à réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau. Selon les premiers et seconds modes de réalisation préférés, un démultiplexeur de 25 longueur d'onde optique est expliqué. Cependant, lorsque celui-ci est utilisé pour un multiplexeur de longueur d'onde optique, des signaux optiques sont appliqués sur des guides d'ondes de sortie 3 et un signal multiplexé est obtenu au niveau d'un guide d'ondes d'entrée 2.

Bien que l'invention ait été décrite en relation avec un mode de 30 réalisation spécifique pour assurer une description complète et claire, les revendications annexées ne doivent pas être ainsi limitées mais elles sont constituées de manière à permettre la mise en œuvre de toutes les constructions de modification et alternatives qui peuvent

2779298

23

venir à l'esprit de l'homme de l'art pourvu qu'elles tombent dans l'enseignement de base mis ici en exergue.

## REVENDICATIONS

1. Multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique caractérisé en ce qu'il comprend :
  - un guide d'ondes d'entrée (2) formé sur un substrat (1) ;
  - des guides d'ondes de sortie (3) formés sur ledit substrat (1) ;
- 5 un réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau (4) comprenant une pluralité de guides d'ondes de canal (5) en parallèle formé de manière à présenter des différences de longueurs prédéterminées entre deux guides d'ondes de canal adjacents sur ledit substrat (1) ;
- 10 un guide d'ondes de couplage d'entrée (6) pour coupler ledit guide d'ondes d'entrée (2) audit réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau (4) afin de constituer une première partie de couplage ; et
- 15 un guide d'ondes de couplage de sortie (7) pour coupler ledit réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau (4) audit guide d'ondes de sortie (3) afin de constituer une seconde partie de couplage,
- 20 dans lequel les guides d'ondes de ladite pluralité de guides d'ondes de canal (5) dudit réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau (4) sont agencés de telle sorte que tous leurs intervalles soient non constants entre chaque jeu de deux guides d'ondes de canal adjacents au niveau de ladite seconde partie de couplage.
- 25 2. Multiplexeur/démultiplexeur selon la revendication 1, caractérisé en ce que :
  - les guides d'ondes de ladite pluralité de guides d'ondes de canal (5) sont agencés de telle sorte que plusieurs extrémités de ladite seconde partie de couplage formée entre ladite pluralité de guides d'ondes de canal et ledit guide d'ondes de couplage de sortie (7)
  - 30 soient disposées sur une ligne en forme d'arc présentant une courbure prédéterminée et de telle sorte que tous les angles formés par un point

de référence et par chaque jeu de deux desdites plusieurs extrémités de ladite seconde partie de couplage soient non constants sur ledit substrat (1).

3. Multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique  
5 selon la revendication 2, caractérisé en ce que :

les guides d'ondes de ladite pluralité de guides d'ondes de canal (5) sont agencés de telle sorte que, lorsque leur nombre total est N, le numéro de l'un de ladite pluralité de guides d'ondes de canal selon l'ordre numérique est i, les numéros selon l'ordre numérique de 10 premier et second guides d'ondes de canal prédéterminés sont respectivement  $i_1$  et  $i_2$ , un angle formé par l'un de ladite pluralité de guides d'ondes de canal (1) présentant le numéro  $i = 1$  avec une ligne de référence prédéterminée est  $\theta_0$ , un angle commun pour deux guides d'ondes de canal adjacents est  $\Delta\theta$  et des premier et second angles de 15 correction pour corriger ledit angle commun  $\Delta\theta$  sont respectivement  $\Delta\theta_1$  et  $\Delta\theta_2$ , un angle  $\theta_i$  formé par le  $i$ -ième guide d'ondes de canal avec ladite ligne de référence est déterminé conformément à la formule qui suit :

$$\begin{aligned} \theta_i &= \theta_0 + \Delta\theta \times (i - 1) & (1 \leq i < i_1) \\ 20 &= \theta_0 + \Delta\theta \times (i - 1) + \Delta\theta_1 & (i_1 \leq i < i_2) \\ &= \theta_0 + \Delta\theta \times (i - 1) + \Delta\theta_1 + \Delta\theta_2 & (i_2 \leq i \leq N). \end{aligned}$$

4. Multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique selon la revendication 3, caractérisé en ce que :

ledit premier angle de correction  $\Delta\theta_1$  est constitué dans une 25 plage déterminée par :

$$-0,5 \times \Delta\theta \leq \Delta\theta_1 \leq 0,5 \times \Delta\theta \text{ et}$$

ledit second angle de correction  $\Delta\theta_2$  est constitué dans une plage déterminée par :

$$-0,5 \times \Delta\theta \leq \Delta\theta_2 \leq 0,5 \times \Delta\theta.$$

30 5. Multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique selon la revendication 3, caractérisé en ce que :

lorsque lesdits numéros  $i_1$  et  $i_2$  de premier et second guides d'ondes de canal prédéterminés sont définis comme suit :

$$i_1 = dN_1$$

$$i_2 = N - dN_2.$$

lesdits  $dN_1$  et  $dN_2$  sont constitués dans une plage de 1/6 à 1/3 dudit nombre total  $N$  de ladite pluralité de guides d'ondes de canal (5).

6. Multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique  
5 selon la revendication 1, caractérisé en ce que :

les guides d'ondes de ladite pluralité de guides d'ondes de canal (5) dudit réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau (4) sont agencés de telle sorte que tous leurs intervalles soient non constants entre chaque jeu de deux guides d'ondes de canal  
10 adjacents au niveau de ladite première partie de couplage.

7. Multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique  
selon la revendication 6, caractérisé en ce que :

les guides d'ondes de ladite pluralité de guides d'ondes de canal (5) sont agencés de telle sorte que plusieurs extrémités de ladite  
15 première partie de couplage formée entre ladite pluralité de guides d'ondes de canal et ledit guide d'ondes de couplage d'entrée (6) soient disposées sur une ligne en forme d'arc présentant une courbure prédéterminée et que tous les angles formés par un point de référence et chaque jeu de deux desdites plusieurs extrémités de ladite première  
20 partie de couplage soient non constants sur ledit substrat (1).

8. Multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique  
selon la revendication 7, caractérisé en ce que :

les guides d'ondes de ladite pluralité de guides d'ondes de canal (5) sont agencés de telle sorte que, lorsque leur nombre total est  
25  $N$ , le numéro de l'un de ladite pluralité de guides d'ondes de canal selon l'ordre numérique est  $i$ , les numéros selon l'ordre numérique de troisième et quatrième guides d'ondes de canal prédéterminés sont respectivement  $i_3$  et  $i_4$ , un angle formé par celui de ladite pluralité de guides d'ondes de canal présentant le numéro  $i = 1$  avec une ligne de  
30 référence prédéterminée au niveau dudit côté de guide d'ondes de couplage d'entrée (6) est  $\phi_0$ , un angle commun pour deux guides d'ondes de canal adjacents au niveau d'une première partie de couplage est  $\Delta\phi$  et des premier et second angles de correction pour corriger ledit angle commun  $\Delta\phi$  sont respectivement  $\Delta\phi_1$  et  $\Delta\phi_2$ , un

angle  $\phi_i$  formé par le  $i$ -ième guide d'ondes de canal avec ladite ligne de référence au niveau dudit côté de guide d'ondes de couplage d'entrée (6) est déterminé conformément à la formule qui suit :

$$\begin{aligned} \phi_i &= \phi_0 + \Delta\phi \times (i - 1) & (1 \leq i < i_3) \\ 5 &= \phi_0 + \Delta\phi \times (i - 1) + \Delta\phi_1 & (i_3 \leq i < i_4) \\ &= \phi_0 + \Delta\phi \times (i - 1) + \Delta\phi_1 + \Delta\phi_2 & (i_4 \leq i \leq N). \end{aligned}$$

9. Multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique selon la revendication 8, caractérisé en ce que :

le dit premier angle de correction  $\Delta\phi_1$  est constitué dans une 10 plage déterminée par :

$$-0,5 \times \Delta\phi \leq \Delta\phi_1 \leq 0,5 \times \Delta\phi \text{ et}$$

le dit second angle de correction  $\Delta\phi_2$  est constitué dans une plage déterminée par :

$$-0,5 \times \Delta\phi \leq \Delta\phi_2 \leq 0,5 \times \Delta\phi.$$

15 10. Multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique selon la revendication 8, caractérisé en ce que :

lorsque lesdits numéros  $i_3$  et  $i_4$  des troisième et quatrième guides d'ondes de canal prédéterminés sont définis comme suit :

$$\begin{aligned} 20 &i_3 = dN_3 \\ &i_4 = dN_4, \end{aligned}$$

lesdits  $dN_3$  et  $dN_4$  sont constitués dans une plage de 1/6 à 1/3 dudit nombre total  $N$  de ladite pluralité de guides d'ondes de canal (5).

11. Multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique caractérisé en ce qu'il comprend :

25 un guide d'ondes d'entrée (2) formé sur un substrat (1) ;  
 des guides d'ondes de sortie (3) formés sur ledit substrat (1) ;  
 un réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau (4) comprenant une pluralité de guides d'ondes de canal (5) en parallèle formé de manière à présenter des différences de longueurs 30 prédéterminées entre deux guides d'ondes de canal adjacents sur ledit substrat (1) ;  
 un guide d'ondes de couplage d'entrée (6) pour coupler ledit guide d'ondes d'entrée (2) audit réseau de diffraction à guides d'ondes

agencés en réseau (4) afin de constituer une première partie de couplage ; et

un guide d'ondes de couplage de sortie (7) pour coupler ledit réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau (4) audit 5 guide d'ondes de sortie (3) afin de constituer une seconde partie de couplage,

dans lequel les guides d'ondes de ladite pluralité de guides d'ondes de canal (5) dudit réseau de diffraction à guide d'ondes agencés en réseau (4) sont divisés selon plusieurs groupes dont 10 chacun comporte un nombre prédéterminé de guides d'ondes de canal, et dans chacun desdits plusieurs groupes, des intervalles de chaque jeu de deux guides d'ondes de canal adjacents sont constants, et lesdits intervalles sont respectivement différents entre lesdits plusieurs groupes, au niveau de ladite seconde partie de couplage.

15 12. Multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique caractérisé en ce qu'il comprend :

un guide d'ondes d'entrée (2) formé sur un substrat (1) ;  
des guides d'ondes de sortie (3) formés sur ledit substrat (1) ;  
un réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau 20 (4) comprenant une pluralité de guides d'ondes de canal (5) en parallèle formé de manière à présenter des différences de longueurs prédéterminées entre deux guides d'ondes de canal adjacents sur ledit substrat (1) ;

un guide d'ondes de couplage d'entrée (6) pour coupler ledit 25 guide d'ondes d'entrée (2) audit réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau (4) afin de constituer une première partie de couplage ; et

un guide d'ondes de couplage de sortie (7) pour coupler ledit réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau (4) audit 30 guide d'ondes de sortie (3) afin de constituer une seconde partie de couplage,

dans lequel les guides d'ondes de ladite pluralité de guides d'ondes de canal (5) dudit réseau de diffraction à guide d'ondes agencés en réseau (4) sont divisés selon plusieurs groupes dont

chacun comporte un nombre prédéterminé de guides d'ondes de canal, et dans chacun desdits plusieurs groupes, des intervalles de chaque jeu de deux guides d'ondes de canal adjacents sont constants, et lesdits intervalles sont respectivement différents entre lesdits plusieurs

5 groupes, au niveau desdites première et seconde parties de couplage.

13. Multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique caractérisé en ce qu'il comprend :

un guide d'ondes d'entrée (2) formé sur un substrat (1) ;

des guides d'ondes de sortie (3) formés sur ledit substrat (1) ;

10 un réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau (4) comprenant une pluralité de guides d'ondes de canal (5) en parallèle formé de manière à présenter des différences de longueurs prédéterminées entre deux guides d'ondes de canal adjacents sur ledit substrat (1) ;

15 un guide d'ondes de couplage d'entrée (6) pour coupler ledit guide d'ondes d'entrée (2) audit réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau (4) afin de constituer une première partie de couplage ; et

un guide d'ondes de couplage de sortie (7) pour coupler ledit 20 réseau de diffraction à guides d'ondes agencés en réseau (4) audit guide d'ondes de sortie (3) afin de constituer une seconde partie de couplage,

dans lequel les guides d'ondes de ladite pluralité de guides d'ondes de canal dudit réseau de diffraction à guides d'ondes agencés 25 en réseau (4) sont agencés de telle sorte que toutes leurs différences de longueurs soient non constantes entre chaque jeu de deux guides d'ondes de canal adjacents.

14. Multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique selon la revendication 13, caractérisé en ce qu'il comprend en outre :

30 une partie de conversion de mode (8) formée au niveau dudit guide d'ondes d'entrée (2) ou au niveau dudit guide d'ondes de sortie (3).

15. Multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique selon la revendication 13, caractérisé en ce que :

lorsque le nombre total de ladite pluralité de guides d'ondes de canal (5) est N, un numéro selon un ordre numérique de l'un de ladite pluralité de guides d'ondes de canal est i, des numéros prédéterminés de premier et second guides d'ondes de canal sont  $i_1$  et  $i_2$ , une

5 longueur de référence desdits guides d'ondes de canal est  $L_0$ , une différence de longueur commune entre deux guides d'ondes de canal adjacents est  $\Delta L$  et des première et seconde valeurs de correction de longueurs de ladite pluralité de guides d'ondes de canal sont respectivement  $dL_1$  et  $dL_2$ , une longueur du i-ième guide d'ondes de

10 canal  $L_i$  est déterminée conformément à la formule qui suit :

$$\begin{aligned} L_i &= L_0 + \Delta L \times (i - 1) & (1 \leq i < i_1) \\ &= L_0 + \Delta L \times (i - 1) + dL_1 & (i_1 \leq i < i_2) \\ &= L_0 + \Delta L \times (i - 1) + dL_2 & (i_2 \leq i \leq N). \end{aligned}$$

16. Multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique

15 selon la revendication 13, caractérisé en ce que :

lorsque le nombre total de ladite pluralité de guides d'ondes de canal est N, un numéro selon un ordre numérique de l'un de ladite pluralité de guides d'ondes de canal est i, des numéros prédéterminés de premier et second guides d'ondes de canal sont  $i_1$  et  $i_2$ , une

20 longueur de référence desdits guides d'ondes de canal est  $L_0$  et une différence de longueur commune entre deux guides d'ondes de canal adjacents est  $\Delta L$ , la longueur du i-ième guide d'ondes de canal  $L_i$  est déterminée conformément à la formule qui suit :

$$\begin{aligned} L_i &= L_0 + \Delta L \times (i - 1) & (1 \leq i < i_1) \\ 25 &= L_0 + \Delta L \times (i - 1) - \Delta L/2 & (i = i_1) \\ &= L_0 + \Delta L \times (i - 1) - \Delta L & (i_1 + 1 \leq i < i_2) \\ &= L_0 + \Delta L \times (i - 1) - 1,5 \cdot \Delta L & (i = i_2) \\ &= L_0 + \Delta L \times (i - 1) - 2 \cdot \Delta L & (i_2 + 1 \leq i \leq N). \end{aligned}$$

17. Multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique

30 selon la revendication 13, caractérisé en ce que :

lorsque le nombre total de ladite pluralité de guides d'ondes de canal est N, un numéro selon un ordre numérique de l'un de ladite pluralité de guides d'ondes de canal est i, des numéros prédéterminés de premier et second guides d'ondes de canal sont respectivement  $i_1$

et  $i_2$ , une longueur de référence de ladite pluralité de guides d'ondes de canal est  $L_0$  et une différence de longueur commune entre deux guides d'ondes de canal adjacents est  $\Delta L$ , la longueur du  $i$ -ième guide d'ondes de canal  $L_i$  est déterminée conformément à la formule qui suit :

$$\begin{aligned}
 5 \quad L_i &= L_0 + \Delta L \times (i - 1) & (1 \leq i < i_1) \\
 &= L_0 + \Delta L \times (i - 1) + \Delta L/2 & (i = i_1) \\
 &= L_0 + \Delta L \times (i - 1) + \Delta L & (i_1 + 1 \leq i < i_2) \\
 &= L_0 + \Delta L \times (i - 1) + 1.5 \cdot \Delta L & (i = i_2) \\
 &= L_0 + \Delta L \times (i - 1) + 2 \cdot \Delta L & (i_2 + 1 \leq i \leq N).
 \end{aligned}$$

10 18. Multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique selon la revendication 13, caractérisé en ce que :

lorsque le nombre total de ladite pluralité de guides d'ondes de canal est  $N$ , un numéro selon un ordre numérique de l'un de ladite pluralité de guides d'ondes de canal est  $i$ , des numéros prédéterminés 15 de premier et second guides d'ondes de canal sont  $i_1$  et  $i_2$ , une longueur de référence de ladite pluralité de guides d'ondes de canal est  $L_0$ , des première, seconde et troisième valeurs de correction de longueurs desdits guides d'ondes de canal sont respectivement  $\Delta L_1$ ,  $\Delta L_2$  et  $\Delta L_3$ , une constante de propagation d'une longueur d'onde 20 prédéterminée  $\lambda_j$  est  $\beta$  ( $\lambda_j$ ), lesdites première, seconde et troisième valeurs de correction  $\Delta L_1$ ,  $\Delta L_2$  et  $\Delta L_3$  sont respectivement définies comme suit :

$$\begin{aligned}
 \Delta L_1 &= 2 \cdot m_1 \cdot \pi / \beta (\lambda_j) & (m_1 \text{ est un entier positif}) \\
 \Delta L_2 &= 2 \cdot m_2 \cdot \pi / \beta (\lambda_j) & (m_2 \text{ est un entier positif}), \text{ et} \\
 25 \quad \Delta L_3 &= 2 \cdot m_3 \cdot \pi / \beta (\lambda_j) & (m_3 \text{ est un entier positif}),
 \end{aligned}$$

où  $m_1 \neq m_2$  et  $m_3 \neq m_2$ ,

la longueur du  $i$ -ième guide d'ondes de canal  $L_i$  est déterminée conformément à la formule qui suit :

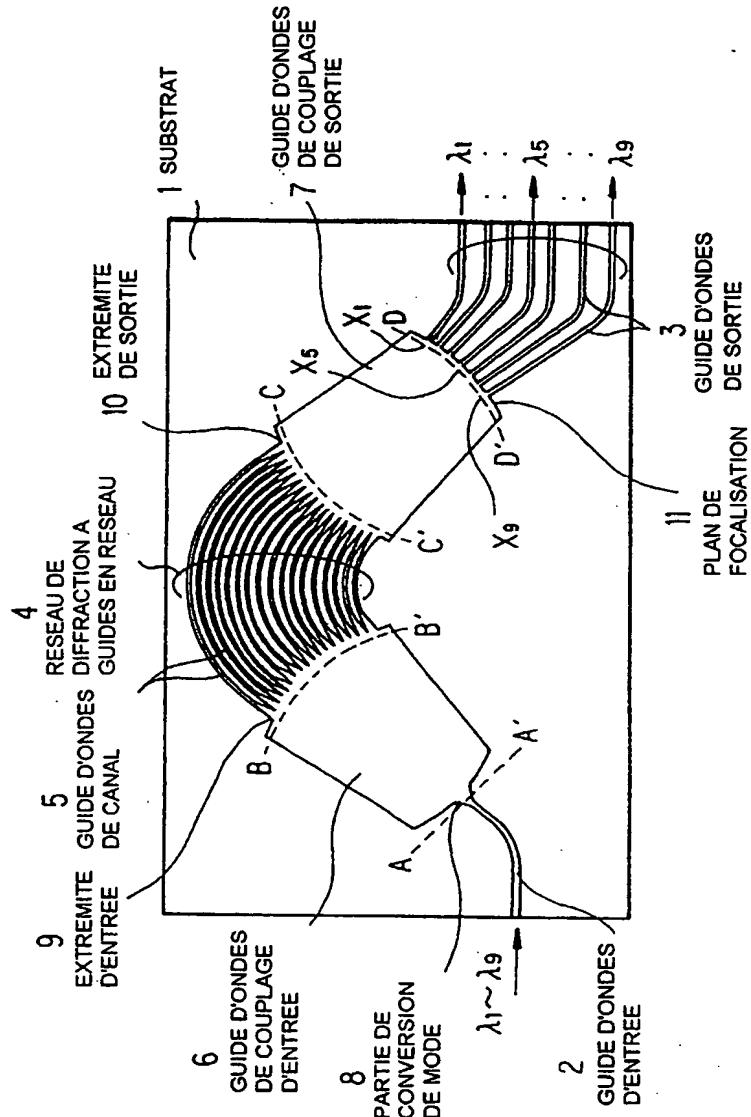
$$\begin{aligned}
 30 \quad L_i &= L_0 + \Delta L_1 \times (i - 1) & (1 \leq i < i_1) \\
 &= L_0 + \Delta L_2 \times (i - 1) & (i_1 \leq i < i_2) \\
 &= L_0 + \Delta L_3 \times (i - 1) & (i_2 \leq i \leq N).
 \end{aligned}$$

19. Multiplexeur/démultiplexeur de longueur d'onde optique selon la revendication 15, caractérisé en ce que :

lorsque le nombre total de ladite pluralité de guides d'ondes de canal est N et que des numéros  $i_1$  et  $i_2$  selon l'ordre numérique desdits premier et second guides d'ondes de canal sont définis comme suit :

5       $i_1 = dN_1$  et  
       $i_2 = N - dN_2$ ,  
lesdits  $dN_1$  et  $dN_2$  sont constitués dans une plage de 1/6 à 1/3 du nombre total N de ladite pluralité de guides d'ondes de canal.

FIG. 1 ART ANTERIEUR



2/9

FIG. 2A ART ANTERIEUR

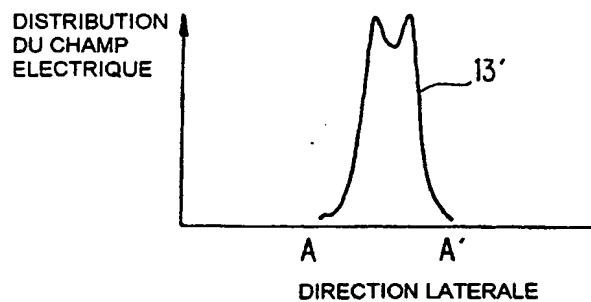


FIG. 2B ART ANTERIEUR

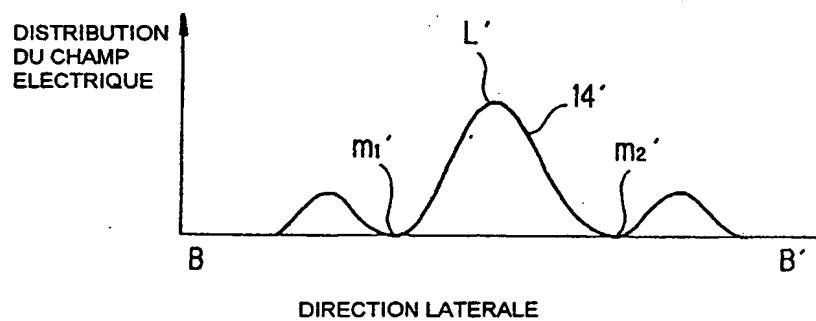
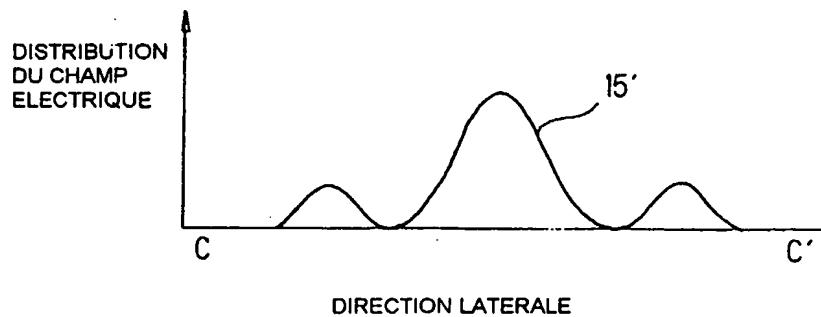
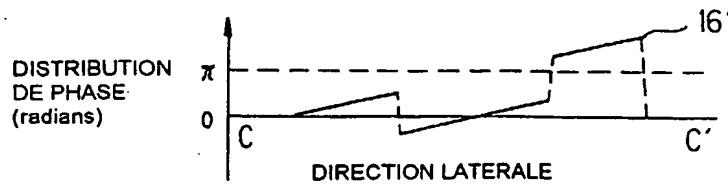
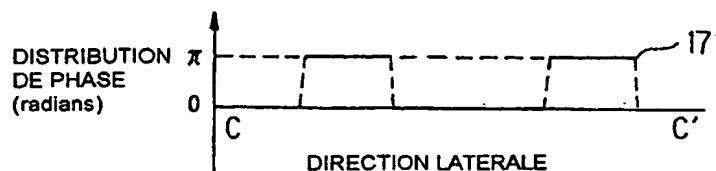
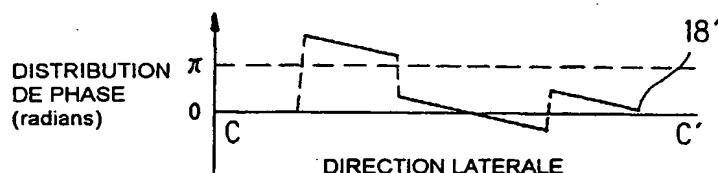
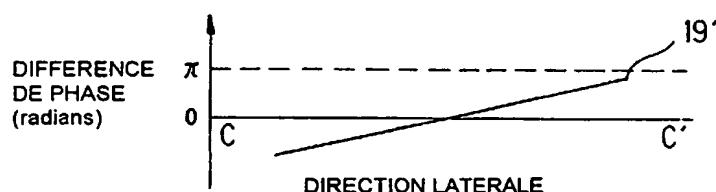
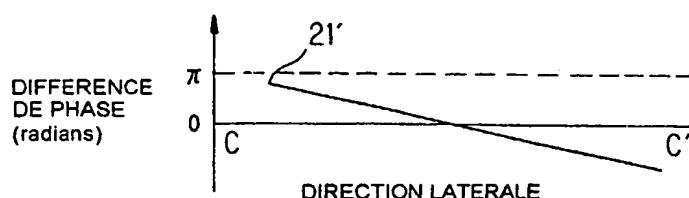


FIG. 2C ART ANTERIEUR



3/9

**FIG. 3A ART ANTERIEUR****FIG. 3B ART ANTERIEUR****FIG. 3C ART ANTERIEUR****FIG. 3D ART ANTERIEUR****FIG. 3E ART ANTERIEUR**

4/9

FIG. 4 ART ANTERIEUR

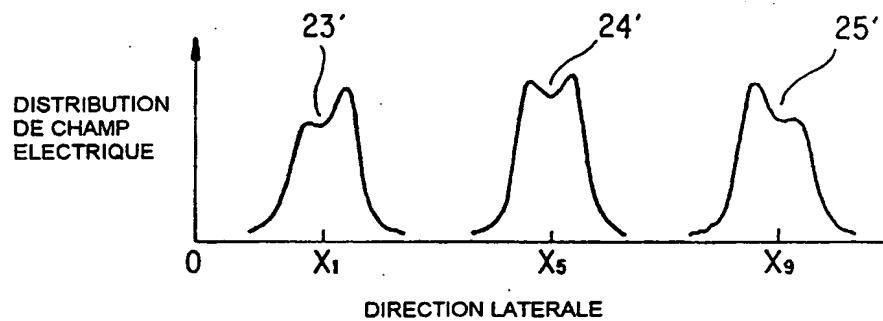
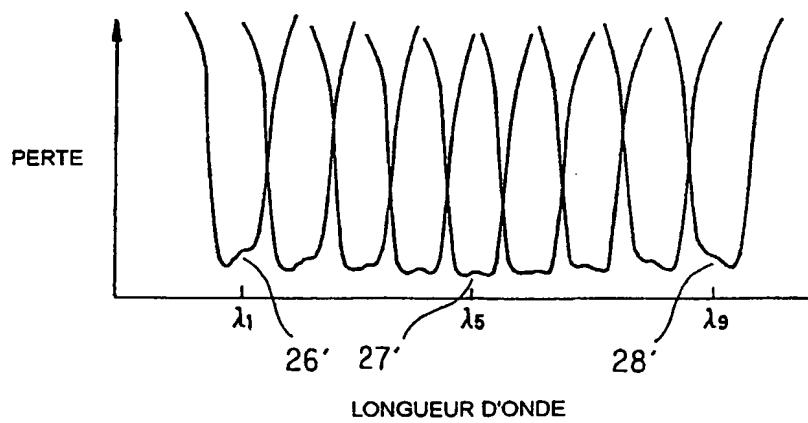


FIG. 5 ART ANTERIEUR



5/9

FIG. 6A

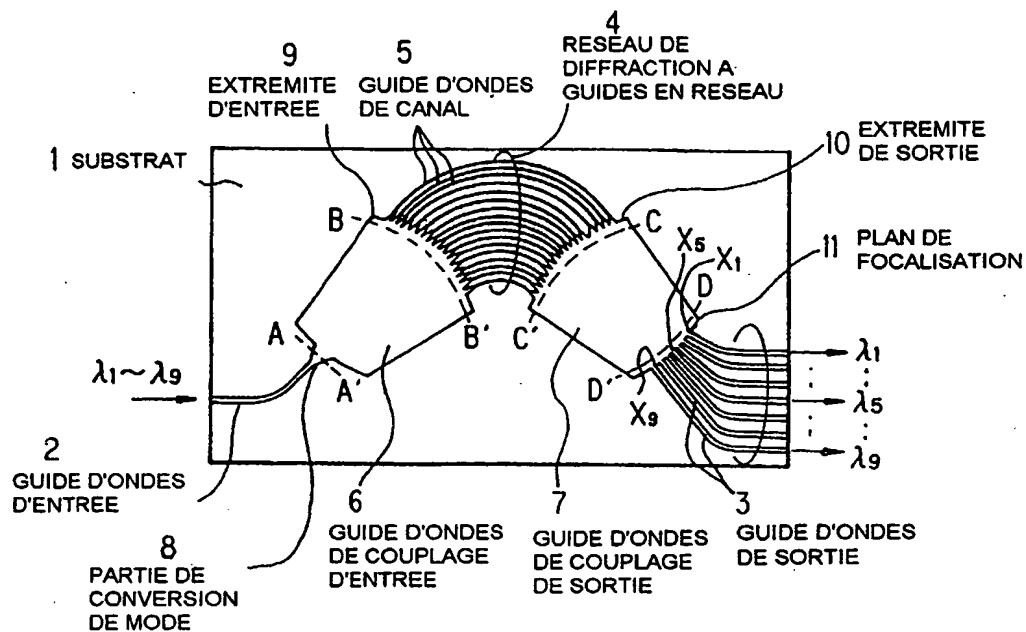
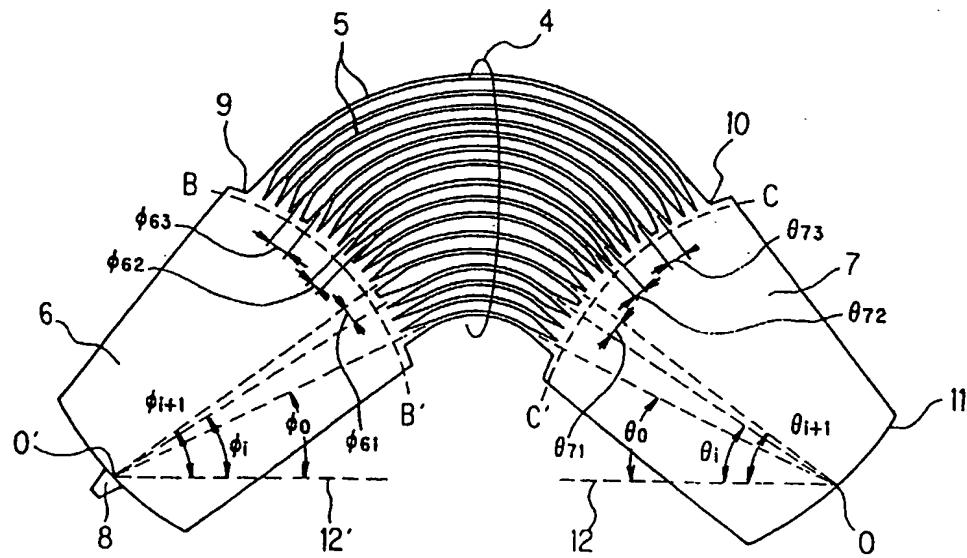


FIG. 6B



6/9

FIG. 7A

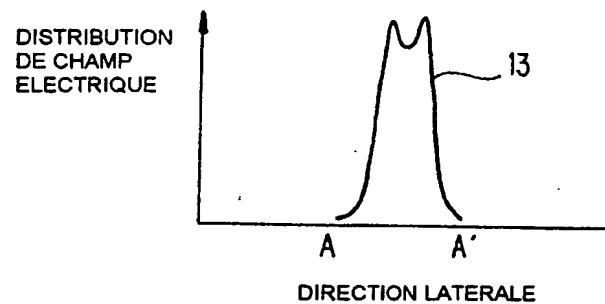


FIG. 7B

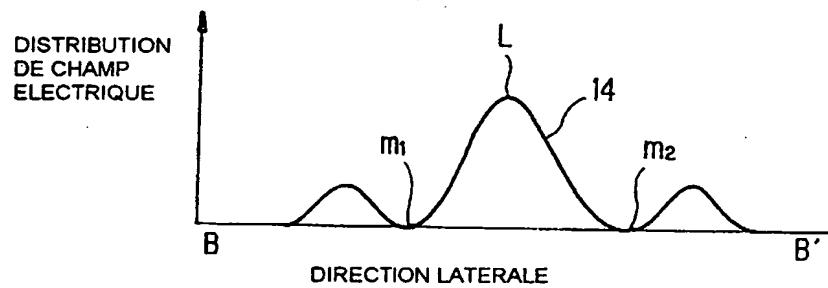
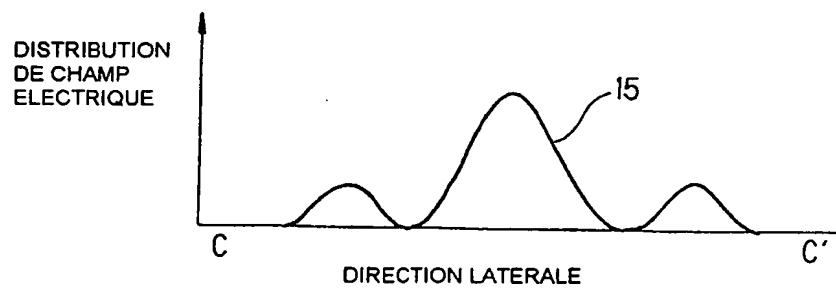


FIG. 7C



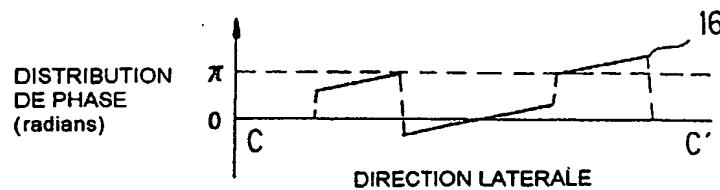
7/9  
FIG. 8A

FIG. 8B

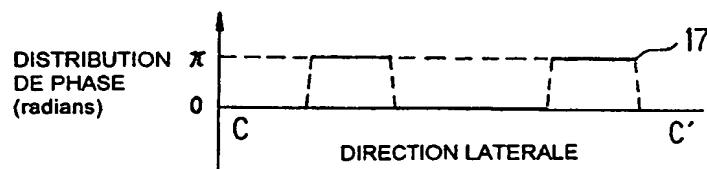


FIG. 8C

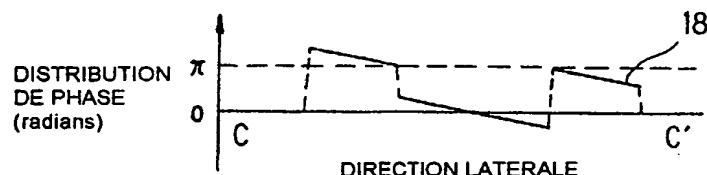


FIG. 8D

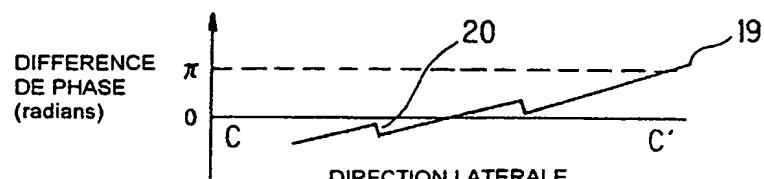
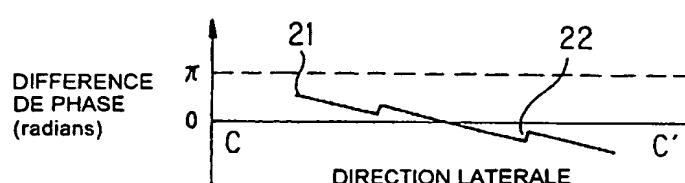


FIG. 8E



8/9

FIG. 9

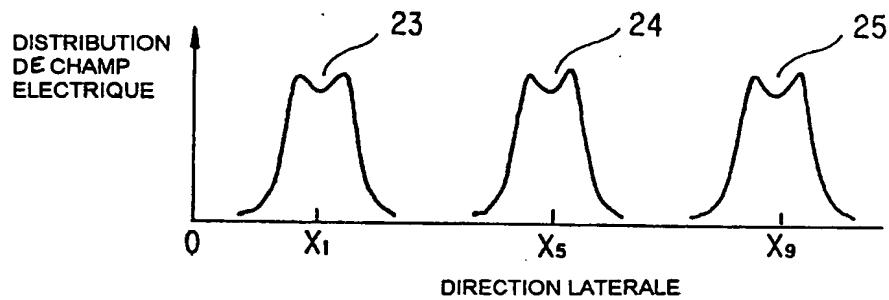
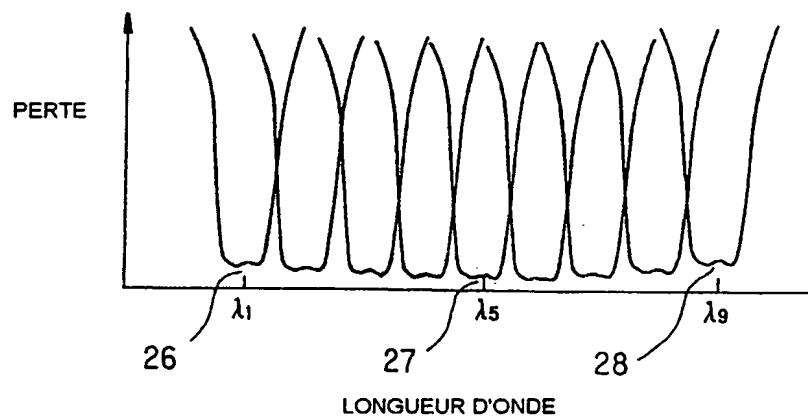


FIG. 10



9/9

FIG. 11A

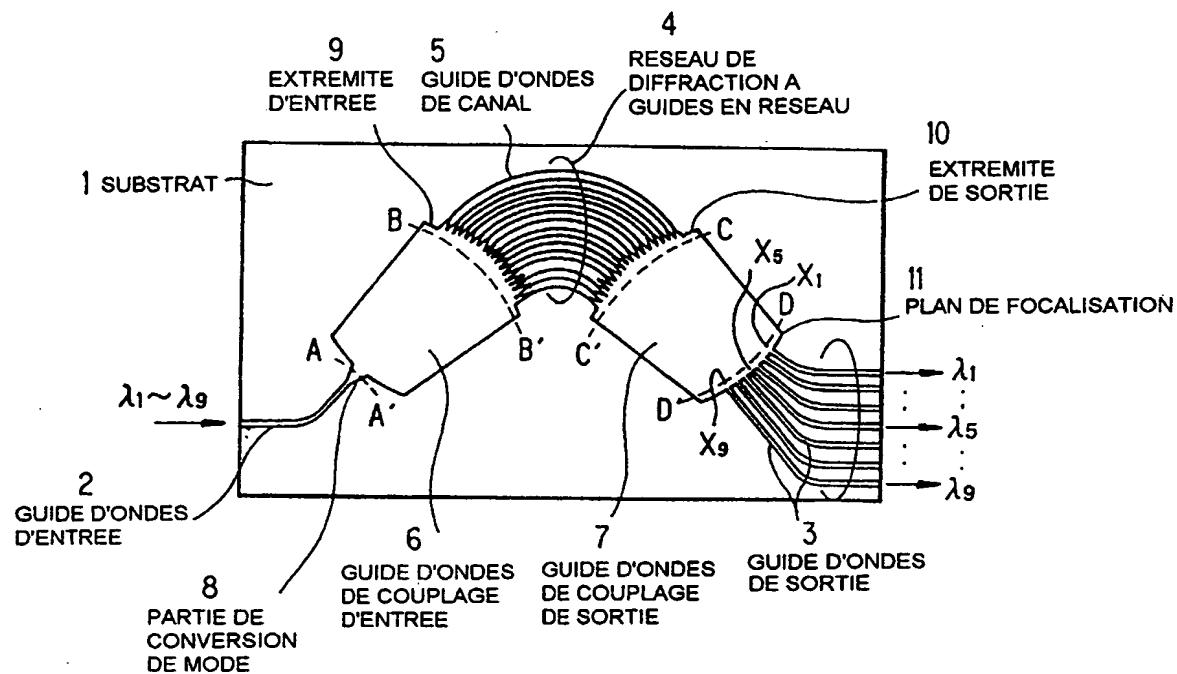


FIG. 11B

